

基于自适应控制理论的自主计算

吕 晔, 曾文华

(厦门大学软件学院 福建 厦门 361005)

【摘 要】: 结合自适应控制理论相关知识, 将参数自适应反馈控制回路应用于自主元素建立, 提出一种新的基于自适应控制理论的自主计算实现方法, 并在系统层面提出一种多层次自主计算系统构建方案。

【关键词】: 自主计算; 自主元素; 自适应控制; 反馈控制;

1. 引言

随着计算机应用和服务技术的快速发展, 基于 Internet 的分布式网络应用越来越庞大、复杂, 对于管理人员能力需求也在不断地提高, 应用系统在管理和维护上面临着巨大的困难。在这种背景下, IBM 公司提出了自主计算的概念, 期望解决这一问题。自主计算思想来源于人体的生物神经系统, 生物神经系统可在无大脑意识控制的条件下自动地管理人体局部功能。自主计算的目的在于实现计算机系统的自动管理, 减少人为干预, 实现系统的自动部署、自动配置、自动修复、自动优化和自我保护。从现有研究成果来看, 对自主计算的研究还未形成系统而成熟的理论体系, 各种应用也大多是领域相关的, 相对于理论体系的实现方法较少。本文将现代控制中的自适应控制理论相关概念引入自主计算中, 提供一种新的自主计算实现方法, 该实现方法将反馈控制回路引入到自主元素的设计中, 从而实现自主元素的自我管理特性。

2. 自主计算模型架构

IBM 针对单个资源的管理提出了一个自主管理架构, 称为自主元素, 如图 1 所示。自主元素由被管理资源和自主管理者构成。

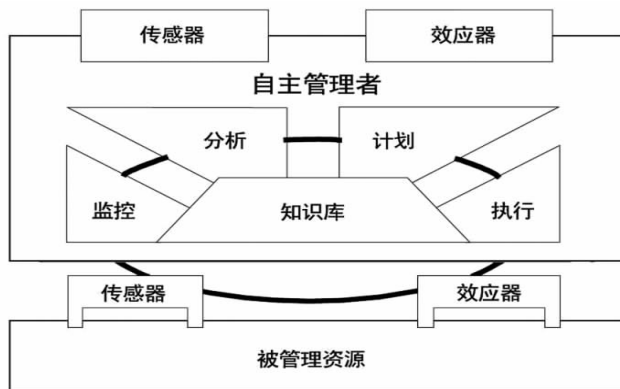


图 1 自主元素体系结构

自主管理者由监控部件、分析部件、计划部件、执行部件和知识库部件组成, 形成了 MAPE (监视 monitoring-分析 analysis-规划 plan-执行 execution) 控制环。其中, 监控和分析部件提供自我觉察和外部环境觉察的能力, 并以此为基础进行自主决策, 确定系统的自适应目标, 计划和执行部件实现系统状态偏离期望目标时的自适应功能。上述 4 个功能部件均在知识库的支持下运作。被管理资源是指被自主管理者控制的系统组件, 它可以是简单的资源 (服务器、数据库服务器或路由器), 也可以是资源的集合 (服务器池、集群或商务应用); 可以是硬件资源 (如存储器、处理器 (CPU) 或打印机), 也可以是软件资源 (如数据库、目录服务或大型的软件系统)。它通过其自身的传感器和效应器实现对被管理组件的控制。传感器提供用于收集组件状态和状态迁移信息的机制。要实现这些传感器可以使用一个 "get" 操作集合以获取当前状态的信息, 或者使用一个管理事件集合 (主动提供的, 异步消息或通知), 当组件状态显著改变时生成管理事件流。

效应器提供改变组件状态 (配置) 的机制。换句话说, 效应器是 "set" 命令或应用编程接口 (API) 的集合, 利用这个集合可以在重要情况下改变被管理资源的配置。

3. 自适应控制理论在自主计算的应用

控制理论是一门理论严谨、分支众多的学科领域, 其中, 自适应控制 (adaptive control) 是现代控制理论中最具活力的分支之一。自适应控制系统能够依据动态的被控对象和环境, 通过测量输入、输出信息实时地获得被管理对象和系统误差的动态特性, 并依据其变化情况按一定的设计方法自动地做出控制决策、修改控制器参数, 使其控制信号适应对象和扰动的变化, 使得系统的控制性能维持最优或者满足要求。因此, 通过适当的扩展, 自适应控制理论可用于建立自主计算系统。

3.1 自主元素建立

在基于控制理论的自主管理方法中, 我们可以把系统的性能保证问题看作是反馈控制问题, 即通过建立一个反馈控制系统来实现对系统性能的自主管理。在基于控制理论的方法中, 主要的系统构造任务包括: (1) 分析软件体系结构并把它建模为一个反馈控制系统; (2) 把特定 QoS (Quality of Service) 控制问题映射为一个系统的控制循环; (3) 选择适当的传感器来可靠地测量当前性能和一个效应器来实现系统行为的调整; (4) 为系统设计一个控制器。

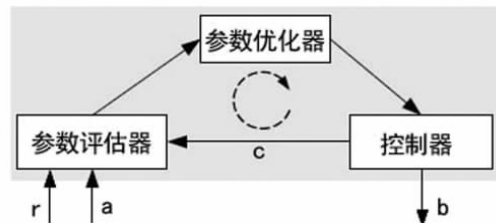


图 2 自优化反馈控制回路

(a, b, c 均为关键环境变量, r 为系统扰动)

众所周知一个软件的运行过程中, 其工作负载是时刻变化的, 某一时刻最佳的调优方案在另一时刻并不一定是最佳的, 因此必须进行动态调优。动态调优是指在工作负载和性能目标持续变化的情况下通过不断调整系统参数及配置来保持稳定和相对优化的性能。这里定义系统的关键环境变量为在系统运行过程中对系统执行方式及性能指标起关键影响的变量。关键环境变量的选择应该达到以下效果: (1) 通过参数变量的值能觉察到工作状态的明显变化; (2) 能预测可能的性能下降并分析下降的原因; (3) 能设计一个尽可能优化且量化的调优方案; (4) 能在不需要人工干预的情况下自主实施调优方案。因此, 基于自适应控制理论的自主计算的关键在于, 通过提取软件的关键环境变量, 在软件运行过程中进行调优, 使软件适应动态变化的环境。基于关键环境变量, 我们可以构建自主元素实现的基础架构, 即如图 2 所示的自优化反馈控制回路。

其中, 参数评估器接受关键系统变量进行评估, 判断此关键环境变量对于系统产生的效果值, 将评估结果提交给参数优化器, 参数优化器将参数根据评估结果进行优化重构, 提交给控制

器,然后控制器根据优化结果决定是否进一步优化,或者直接作用于系统。

基于以上反馈控制回路及自主元素体系架构,我们可以将此自适应反馈控制回路应用于自主元素架构中。如图 3 是一种基于自适应控制理论的自主元素工作原理图。此时自主管理者由监控、反馈控制回路、执行三部分组成,监控部件将环境的状态转换为关键环境变量提交给参数评估器,反馈控制回路负责参数的评估优化,执行部件负责接收反馈控制回路中的反馈关键环境变量,进行动作并施加给系统(被管理资源)。

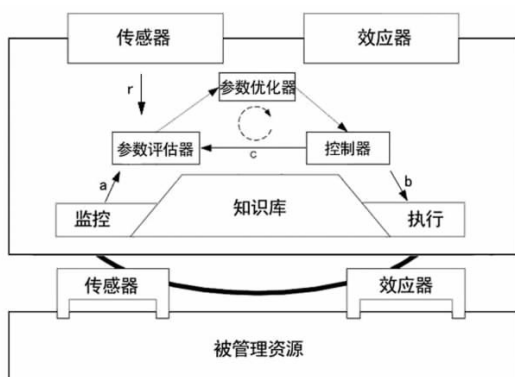


图 3 一种基于自适应控制理论的自主元素
(a、b、c 均为关键环境变量,r 为系统扰动)



图 4 自主计算系统总体架构

对于自主元素外部信息,如整个系统的颠簸,则通过另一对传感器和效应器进行作用。传感器将外部信息转换为系统扰动,传入给内部的自主管理者,然后通过反馈控制环,将系统扰动也作为评估参数进行参数的评估、优化。从而使自主元素在满足自身性能优化的基础上,同时使系统全局处于优化的状态。

3.2 自主计算系统总体架构

过程和学习资源。分析 Agent 的实现包括的模块如图 2 所示:

分析 Agent 模块中的本体推理引擎主要是遍历课程知识本体,获得课程知识点生成树,并生成课前预备知识测试资源。规则推理引擎根据课程知识点生成树和学习目标知识点,确定选中的课程资源。

资源 Agent 主要功能是对教师或者学生上传的文本资源进行自动分类与本体标注。资源 Agent 通过词频分析程序,确定出文本资源的关键字,并根据课程知识本体,为添加的资源做本体标注,最后将资源添加到资源库中。

3.模型中学生学习过程

学生首次进入学习系统后,先填写自己的基本特征,然后选择课程的学习目标,模型分析 Agent 自动依据学生选择的学习目标和本体库中的课程领域本体确定测试学生的课程基础的预备知识测试资源,根据学生的测试结果,进一步利用规则推理引擎,生成初始学习资源集合,并将这些资源路径交给学生 Agent 由学生自主选择学习,学生 Agent 将所有学习记录保存在用户信息库中,以便下次学生进行后继学习。学习过程完成后,学生可

此外,在系统层面上,一般采取层次体系结构,如图 4 所示。每一个节点表示一个自主元素,其在整个系统中,我们称一个自主元素为一个控制器。在层次体系结构中,控制器分为两类:局部控制器和全局控制器。局部控制器与全局控制器是相对而言的,在树状网络中,子节点相对于其父节点为局部控制器,父节点相对于子节点为全局控制器。在图 4 中,节点 A 是节点 B1、B2、B3、B4 的全局控制器,而 B2 是 C1、C2 的全局控制器。

局部控制器可以共享全局控制器的关键环境变量,即在同一节点之下的所有局部控制器共享同一环境。一组局部控制器之间的交互由一个全局控制器管理;节点在充当全局控制器时,它包含与全局目标相关的信息,如用于刻画系统组件之间的交互细节的变量。全局控制器管理系统的宏观特性,它通过关键环境变量改变的方式对每个局部控制器施加操作约束;每个局部控制器则基于对关键环境变量进行相应的动作,约束优化本节点的软件性能。

4.结论

本文提出了一种基于自适应控制理论的自主元素体系结构,它以自主计算、自适应控制理论为依据,并从自主元素建立及自主计算系统整体结构上,讨论了实现的关键细节。该结构不仅有理论上的可行性,而且还有现实的可操作性,有利于建立自主计算系统,帮助系统管理人员减轻系统配置和应急处理的负担,降低系统维护的成本同时提高系统维护的效率。

参考文献:

1. 廖备水,李石坚,姚远,高济.自主计算概念模型与实现方法[J].软件学报,2008,(04).
2. 廖备水,高济.PDC-Agent 支持的动态自组织系统[J].计算机辅助设计与图形学报,2006,(02).
3. 张海俊.基于主体的自主计算研究[D].中国科学院研究生院(计算技术研究所),2005.
4. 张海俊,史忠植.自主计算软件工程方法[J].小型微型计算机系统,2006,(06).
5. 南余荣,吴志刚,马德中,周俊勇,钟德刚.基于自适应算法的无速度传感器技术的研究[J].浙江工业大学学报,2003,(06).
6. 胡伟,秦开怀,袁国栋.集群绘制系统中的自主计算[J].清华大学学报(自然科学版),2006,(07).
7. 徐立新,强文义,王玉琛,周彦,苗立杰.发电用重型燃气轮机的模糊自适应控制[J].哈尔滨工程大学学报,2005,(02).
8. 隋青美,王正欧.基于神经网络的多变量发酵过程自适应控制[J].信息与控制,2002,(04).
9. 任培花,黄丽芬,康振峻.基于环境变量调优的自主计算软件结构的研究[J].佳木斯大学学报(自然科学版),2007,(06).

(上接第 155 页)

以再次输入自己的学习目标,由系统再为学生提供合适的学习资源。

4.结论

本文提出了一种基于本体的多 Agent 在线学习系统模型,模型利用本体对课程知识关系描述,系统可以根据学生的特征和学习目标,对学生安排个性化的学习过程,对不同学习目标的学生提供不同的学习知识点,为不同学习背景的学生提供不同深度的学习内容。在资源组织方面模型提供了对文本资源自动分类和本体标注功能。

参考文献:

1. Gruber T R. Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing[J]. Int Journal of Human and Computer Studies, 1995, 43: 907-928.
2. 陆建江等.语义网原理与技术[M].北京:科学出版社,2007.
3. 王永庆.人工智能原理与方法[M].西安交通大学出版社,2002.
4. 叶银兰.基于 Agent 的智能化网络教学系统的研究.科技信息(学术研究),2007 年 14 期。